

序

我国水土保持教学可以追溯到 20 世纪的 40 年代，而系统的专业教育则始于 20 世纪五六十年代。目前在高等教育系统中，开设水土保持与荒漠化防治本科专业的院校已增加到了 20 所。这无疑对我国水土保持与荒漠化防治事业的发展做出了很大贡献。但由于水土保持既是一门边缘交叉学科，又是一门综合性很强的应用技术学科，因而各院校的教育培养目标、教学方案与课程体系及各门课程的教学内容，都存在着一定的差别。虽然已展现出了百花齐放的局面，但对教学管理和人才规格的衡量等造成了一定的困难。为了解决这一矛盾，并继续保持各院校的教学优势，就得在骨干课程上进行统一与规范。

21 世纪初，中华人民共和国教育部启动了进一步提高本科专业教学质量的“质量工程”。西北农林科技大学资源环境学院水土保持系的全体教师有幸获批了“高等学校水土保持与荒漠化防治特色专业建设”的项目。他们结合专业特点与社会需求，在全国开展了较大范围的调查研究，初步确定了本专业的骨干课程，并以其中的专业基础课与专业课为对象，组织了全国百余名教师、研究人员和工程技术人员联合编写《土壤侵蚀学》等 10 余本教材，这套教材既充分吸纳了水土保持学科已有的成果，又反映了学科发展的现状与趋势；既注重理论教学，又考虑到了学生动手能力的培养；既注重了课程的内涵，又考虑了课程的系统组合，并减少了课程内容的重叠。可以说，它对实现学生厚基础、宽口径、强能力和高素质的培养很有帮助。

当前，防治水土流失与荒漠化已成为我国的一项基本国策，既是实现生态良性循环的主要内容，又是社会经济可持续发展的重要基础。因此，建设型人才的培养与训练至关重要。希望这套教材能为专业建设型人才的培养和水土保持与荒漠化防治高等教育做出应有的贡献。同时，也衷心祝愿我国水土保持与荒漠化防治的高等教学更为完臻。

国际欧亚科学院院士

中国科学院水利部水土保持研究所研究员

唐克明

2010 年 12 月 10 日

前 言

土壤侵蚀的形成与预防是水土保持学科应解决的重点问题之一，这就决定了阐述土壤侵蚀基本原理与研究方法的课程在水土保持与荒漠化防治本科专业课程体系中的重要地位与作用。我国现已出版发行的《水土保持原理》（关君蔚，1996）、《土壤侵蚀》（刘秉正和吴发启，1997）和《土壤侵蚀原理》（张洪江，2000，2008），对该专业教学的持续发展起到了良好的推动作用。21世纪初，中华人民共和国教育部再次启动了提高本科教学质量的“高等学校本科教学质量与教学改革工程”，我们有幸获批了水土保持与荒漠化防治本科特色专业建设的项目与任务。在对该专业教学优势与不足分析研究的基础上，项目组决定编写一套教材，以推动该专业规范化教学的进程。《土壤侵蚀学》就是该系列教材之一。

《土壤侵蚀学》是由西北农林科技大学资源环境学院的吴发启教授、郑粉莉研究员、王占礼研究员、高国雄副教授、王健副教授，北京林业大学水土保持学院的张洪江教授、程金花副教授，内蒙古农业大学生态环境学院的国润才副教授，山西农业大学资源环境学院的王曰鑫教授，甘肃农业大学资源环境学院的王立教授，沈阳农业大学水利学院的范昊明副教授，辽宁工程技术大学资源与环境工程学院的段海侠副教授，浙江大学资源环境学院的张丽萍教授，贵州大学林学院的戴全厚教授、唐丽霞讲师，西南大学资源环境学院的史东梅教授，四川农业大学资源环境学院的郑子成副教授、何淑勤讲师和南昌工程学院生态环境系的黄荣珍副教授共19位教师与研究人员组成的编写委员会，在认真总结已有成果的基础上，提出编写大纲，分工编写而成。各章的编写人员为：绪论，吴发启，郑粉莉；第一章，张洪江，程金花，吴发启；第二章，吴发启，王健，程金花；第三章，张丽萍，王曰鑫，吴发启；第四章，郑子成，何淑勤，唐丽霞，吴发启；第五章，高国雄，国润才；第六章，范昊明；第七章，戴全厚，唐丽霞，吴发启；第八章，史东梅，王曰鑫，王占礼，吴发启；第九章，吴发启，王健，王立；第十章，张洪江，程金花，黄荣珍；第十一章，王健，段海侠，吴发启；第十二章，程金花，吴发启。各章的第一位作者均为该章的统稿人。全书由吴发启、张洪江、张丽萍、戴全厚、范昊明、王健和程金花统稿。西北农林科技大学刘秉正教授主审了全部书稿。

对土壤侵蚀的认识，在我国已有几千年的历史，而世界范围内对土壤侵蚀的科学研究也不过百余年的时光。但是，近二十几年来，随着人们对资源、环境及经济持续发展认识的不断深化，土壤侵蚀领域的研究也在突飞猛进地发展，除丰富和完善了该领域的内容外，还显露出一些新的知识点和动向。为此，本书除了继承和保留已有教材中一些较为完善系统的内容外，还最大限度地将其一些新的内容纳入其中。同时，对以往理论教学与实践教学的内容进行了整合，并将与其他课程重叠的内容进行了删减，以便同学们在有限的学习时间内，更全面地掌握该领域的主要内容、研究方法和发展趋势。

值此《土壤侵蚀学》完稿之际，特别感谢主审书稿的刘秉正教授，参与书稿编写的各位



编委，书中所引用的科技成果、论文、著作和教材的作者，以及科学出版社的编辑。

土壤侵蚀研究成果累累，但作者的知识水平和实践经验有限，书中缺点与不足在所难免，挂一漏万现象定存，恳切希望各位读者批评指正。

吴发启

2010年12月于杨凌



目 录

序

前言

绪论	1
一、土壤侵蚀的基本概念	1
二、土壤侵蚀学研究的对象、内容与方法	2
三、土壤侵蚀学在水土保持学科中的地位	3
四、土壤侵蚀造成的危害	3
五、土壤侵蚀科学的形成与发展	7
复习思考题	11
第一章 土壤侵蚀	12
第一节 土壤侵蚀的基本营力	12
一、内营力及作用	12
二、外营力及作用	13
第二节 土壤侵蚀类型的划分	14
一、按外营力种类划分	14
二、按发生的时间划分	20
三、按发生的速率划分	21
第三节 土壤侵蚀形式的时空分布	21
一、地表水、热状况与外营力的关系	21
二、侵蚀的地带性规律	22
第四节 土壤侵蚀强度及分级	24
一、土壤侵蚀强度	24
二、土壤侵蚀程度	25
三、容许土壤流失量	25
四、土壤侵蚀分级	27
复习思考题	30
第二章 水力侵蚀	31
第一节 雨滴击溅侵蚀	31
一、雨滴的特性	31
二、溅蚀过程及溅蚀量	35
三、溅蚀影响的因素	37
第二节 坡面侵蚀	39
一、坡面流的速度及能量	39
二、坡面侵蚀过程及侵蚀量	41
三、坡面侵蚀的影响因素	42



第三节	沟蚀	52
一、	侵蚀沟的形成	52
二、	山洪侵蚀	55
三、	沟蚀的影响因素	57
第四节	洞穴侵蚀	60
一、	洞穴侵蚀的分类	60
二、	洞穴侵蚀的形成过程	61
三、	洞穴发育的影响因素	63
第五节	海岸、湖岸及库岸侵蚀	64
一、	海浪、湖浪及库浪形成	64
二、	波浪在浅水区的变形	65
三、	海浪的侵蚀作用	66
四、	影响海岸侵蚀作用的因素	67
复习思考题	68
第三章	重力侵蚀	69
第一节	蠕动	69
一、	蠕动的特征	69
二、	松散层蠕动	69
三、	岩体蠕动	70
第二节	崩塌、撒落	70
一、	崩塌	70
二、	撒落	72
第三节	滑坡	76
一、	滑坡特征	76
二、	影响滑坡的因素	77
三、	滑坡的形成过程	78
四、	滑坡分类	80
复习思考题	84
第四章	混合侵蚀	85
第一节	泥石流的形成	85
一、	泥石流的特征	85
二、	泥石流的形成	85
三、	泥石流形成机理分析	88
四、	泥石流发生的特点	89
第二节	泥石流的分布与分类	89
一、	世界泥石流分布	89
二、	我国的泥石流分布	90
三、	我国泥石流的分类	91
四、	我国泥石流危险性分区	92
第三节	泥石流的粒度组成与作用	92



一、泥石流容重及粒度组成	92
二、粘土矿物组成与泥石流的关系	94
第四节 泥石流的动力学特性	94
一、泥石流的流态	94
二、泥石流运动速度	95
三、泥石流的流量与输沙	97
四、泥石流的冲击力计算	100
五、泥石流的输移和冲淤变化	100
第五节 泥石流沟判别	103
一、条件分析	104
二、活动遗迹分析	105
第六节 崩岗	107
一、崩岗侵蚀的类型	107
二、崩岗侵蚀的形成过程	108
三、影响崩岗侵蚀的因素	110
复习思考题	111
第五章 风力侵蚀	112
第一节 风及风沙流特征	112
一、近地面层风	112
二、起动风速与起沙风	113
三、沙粒的运动形式	114
四、风沙流特征与输沙率	116
第二节 风蚀与风积作用过程	119
一、风力侵蚀作用	119
二、风力输移作用	119
三、风力沉积作用	120
四、沙丘的移动	122
第三节 沙尘暴及其影响因素	124
一、扬沙与沙尘暴	124
二、沙尘暴形成因素	124
三、沙尘暴的沙源分布	125
四、沙尘天气的空间分布	125
第四节 土壤风蚀与风蚀荒漠化	128
一、风蚀荒漠化的成因	128
二、风蚀荒漠化的分布	130
三、土壤风蚀的影响因素	130
复习思考题	133
第六章 冻融与冰川侵蚀	134
第一节 冻融侵蚀	134
一、冻土作用机制	134



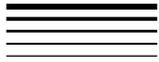
二、冻土基本物理性质	136
三、冻土地表类型	140
四、热融作用	144
五、融雪及解冻期降雨侵蚀	144
第二节 冰川侵蚀	144
一、冰川分布与类型	144
二、冰川运动	146
三、冰川侵蚀过程	147
复习思考题	149
第七章 化学侵蚀	150
第一节 岩溶侵蚀	150
一、岩溶侵蚀特征	150
二、影响岩溶侵蚀的因素	153
第二节 土壤淋溶与盐渍化	158
一、淋溶侵蚀的特征	158
二、影响淋溶侵蚀的因素	158
三、土地次生盐渍化	161
第三节 土壤养分流失	162
一、养分流失的特征	163
二、侵蚀土壤评价	166
复习思考题	169
第八章 人为侵蚀	170
第一节 破坏植被引发人为加速侵蚀	170
一、人口增长导致的生态环境变迁	170
二、陡坡开垦加速土壤侵蚀	171
三、农村能源短缺引发土壤侵蚀	171
第二节 开发建设项目中的土壤侵蚀	172
一、开发建设项目分类	172
二、各类开发建设项目土壤侵蚀的差异性及特征	173
三、开发建设项目水土流失的成因	175
第三节 耕作侵蚀	177
一、耕作侵蚀的概念	177
二、耕作侵蚀的影响因素	179
三、耕作侵蚀研究	179
复习思考题	180
第九章 中国土壤侵蚀类型分区及特征	181
第一节 土壤侵蚀类型分区的基本问题	181
一、分区的目的与任务	181
二、分区原则	181
三、分区的主要依据、指标和命名	181



四、分区方案	182
第二节 以水力侵蚀为主类型区	186
一、西北黄土高原区	186
二、东北低山丘陵和漫岗丘陵区	192
三、北方山地丘陵区	194
四、南方山地丘陵区	195
五、四川盆地及周围山地丘陵区	197
六、云贵高原区	198
第三节 以风力、冻融侵蚀为主类型区	199
一、以风力侵蚀为主类型区	199
二、冻融侵蚀为主类型区	203
复习思考题	203
第十章 土壤侵蚀监测预报	204
第一节 土壤侵蚀监测预报基本知识	204
一、监测预报目的及原则	204
二、监测预报分类	204
三、监测预报指标体系	205
四、监测预报成果	205
五、监测预报技术标准	206
六、监测预报方法与程序	207
第二节 土壤侵蚀预报模型	209
一、经验模型	209
二、数理模型	210
三、随机模型	213
四、混合模型	213
五、专家打分模型	214
六、逻辑判别模型	214
七、土壤侵蚀数字地形模型	215
八、数字流域土壤侵蚀模型	216
第三节 通用土壤流失方程 (USLE) 简介	216
一、通用流失方程中各因子值的确定	216
二、通用土壤流失方程在水土保持中的应用	223
复习思考题	223
第十一章 土壤侵蚀定位观测	224
第一节 坡面水蚀观测	224
一、径流小区法	224
二、同位素示踪法	229
第二节 风力侵蚀观测	231
一、风蚀观测场地的选择	231
二、风蚀观测方法	231



第三节 重力及其他类型侵蚀观测·····	233
一、重力侵蚀观测·····	233
二、泥石流观测·····	236
三、冻融侵蚀观测·····	238
第四节 开发建设项目中的水土流失量估算·····	239
一、对比试验法·····	239
二、项目类比法·····	239
复习思考题·····	241
第十二章 土壤侵蚀调查·····	242
第一节 流域土壤侵蚀调查方法·····	242
一、样点确定方法·····	242
二、侵蚀类型与强度调查方法·····	244
三、水土流失危害调查·····	245
第二节 土壤侵蚀量调查·····	245
一、水文法·····	245
二、淤积法·····	246
三、地貌学方法·····	247
第三节 调查结果评价与分析·····	249
一、信息源评价·····	249
二、调查手段评价·····	249
三、调查误差分析·····	250
复习思考题·····	251
主要参考文献·····	252



绪论

【内容提要】 现代土壤侵蚀是在自然和人为因素共同作用下形成的一种灾害现象，已成为重要的环境问题之一。土壤侵蚀不仅是水土保持的重要理论依据，而且还是水土保持与荒漠化防治专业的核心基础课，在水土保持学科中具有重要的地位。经过几千年的观察和一百余年的研究，土壤侵蚀的基本理论和技术框架已基本形成，随着社会的进步，它的科学体系将更加完善。

水是生命之源，土是生存之本。因此，水土资源的合理利用与调控是人类赖以生存与发展的基础。然而，由于人口剧增而导致的资源环境矛盾日益凸显，水的损失、土的流失与污染等已严重威胁社会经济的可持续发展，已引起了世界各国政府和国民的高度重视。土壤侵蚀学这门课程阐述了土壤侵蚀发生的机理、时空分布与变化、影响因素及造成的危害等，以便为水土保持规划与各项水土保持措施的布设提供科学支撑。

一、土壤侵蚀的基本概念

（一）土壤侵蚀

土壤侵蚀（soil erosion）名词中的“侵蚀”（erosion）一词源于拉丁语 erodere，意为吃掉、挖掉。德国地质学家瓦尔特·彭克（Walter Penck）于1894年首次将侵蚀一词引入地质学中，用于描述河水作用下地表固体物质的流失和槽谷的形成。此后，随着土壤侵蚀研究的深入与发展，各国学者也提出了相应的概念。

1971年，美国土壤保持学会把土壤侵蚀解释为水、风、冰或重力等营力对陆地表面的磨蚀，或者造成土壤、岩屑的分散与移动。英国学者 N. W. 哈德逊在《土壤保持》（1971）中的定义为：就其本质而言，土壤侵蚀是一种夷平过程，使土壤和岩石颗粒在外力的作用下发生转运、滚动或流失，风和水是使颗粒变松和破碎的主要营力。《中国水利百科全书·水土保持分册》中认为土壤侵蚀是土壤或其他地面组成物质在水力、风力、冻融、重力等外营力作用下，被剥蚀、破坏、分离、搬运和沉积的过程。从这些定义中可以看出中外学者对被侵蚀的对象的理解和认识是完全相同的，即既包含了土壤及母质，也涉及了地表裸露岩石，但就侵蚀过程而论，美国、英国学者均忽略了沉积过程。

土壤侵蚀是自然景观发展的一种正常现象，只是当人类出现后，其为了满足各种需求的一些不合理活动使原本相对平衡的环境条件被打破，土壤侵蚀程度和强度被加剧，影响到资源-环境-社会经济的可持续性发展。因此，人们现在认为的土壤侵蚀应为土壤或其地面组成物质在自然营力作用下或在自然营力与人类活动的综合作用下被剥蚀、破坏、分离、搬运和沉积的过程。

（二）水土流失

水土流失（soil erosion and water loss）是指在水力、重力、风力等外营力作用下，水土资源和土地生产力遭受破坏和损失，包括土地表层及水的损失，又称为水土损失。最初，



狭义的水土流失专指水蚀区域的土壤侵蚀，即由水力和重力造成水土资源的破坏和运移。20世纪30年代“土壤侵蚀”一词从欧美传入中国，有的学者开始把“水土流失”作为“土壤侵蚀”的同义语，但也有相悖的观点。广义上讲，水的损失包括了植物截留损失、地面及水面蒸发损失、植物蒸腾损失、深层渗漏损失和坡地径流损失等。在我国水土保持界，水的损失主要是指坡地径流的损失。

（三）水土保持

与水土流失或土壤侵蚀含义相反的词语即为水土保持（soil and water conservation）或土壤保持（soil conservation）。1940年，黄河水利委员会林垦设计委员会与金陵大学农学院、四川大学农学院在成都召开了防止土壤侵蚀的科学研讨会，会上首次提出“水土保持”一词，同年8月林垦设计委员会改名为水土保持委员会，水土保持开始成为专用术语。它是指防治水土流失，保护、改良与合理利用水土资源，维护和提高土地生产力，以利于充分发挥水土资源的生态效益、经济效益和社会效益，建立良好生态环境的事业。可见，水土保持不仅是土地资源的保护，而且还包括了水资源的保护。另外，保护一词还含有改良与合理利用之意。

二、土壤侵蚀学研究的对象、内容与方法

（一）研究对象

土壤侵蚀学是为水土保持服务的应用基础学科，它以陆地表面的土壤侵蚀现象为研究对象。其中，水、土资源是人类赖以生存的基础和条件，因而土壤侵蚀重点研究土壤及其母质在各种外营力作用下的破坏、搬运与堆积及坡地径流的损失。

土壤侵蚀发生有其动力因素（又称激励因子），它决定侵蚀的方式、过程 and 变化，还有若干影响侵蚀作用的因素（又称控制因子），它决定侵蚀的时空分布和特点。土壤侵蚀学的根本任务在于阐明侵蚀作用发生的机理、变化过程、影响因素及其作用特性和侵蚀的分类及地域分异规律等，以便指导水土保持工作的顺利进行。

（二）研究的基本内容和方法

从土壤侵蚀学的根本任务和当前学科发展状况来看，土壤侵蚀学研究的基本内容可归纳为：研究土壤侵蚀作用营力、作用方式及其作用过程，即侵蚀发生、发展规律；研究影响土壤侵蚀的主要因素机制、性质和变化，提出土壤侵蚀防治的基本原理和治理效益评价；土壤侵蚀类型在空间的组合及地域分布规律；土壤侵蚀与生态环境的关系；土壤侵蚀的危害和对农业生产的影响，以及土壤侵蚀的动态监测、模拟及预测预报和高新技术在土壤侵蚀研究中的应用等内容。

土壤侵蚀学是以地质学、地貌学、土壤学、水文学、水力学等学科为基础，运用力学、数学、化学等方法研究土壤侵蚀的发生、发展及其变化，揭示侵蚀本质和规律，这就决定了土壤侵蚀学的研究方法有以下几个。

（1）野外调查研究。包括大范围的宏观调查和典型抽样调查两个方面，调查中采用遥感技术和前述基础学科的研究方法，以获取侵蚀资料，然后进行统计分析，归纳总结其规律。

（2）实验研究与人工模拟研究。长期定位测验是分析和掌握土壤侵蚀规律的重要方法，包括小区测验和小流域测验两部分。研究侵蚀的时空变化、影响因子以及采取不同治理方略



的效益变化等内容。鉴于受自然环境因子影响，野外观测实验历时长，并需要特殊处理，因而出现人工模拟研究法。它能在人为控制下，短期得到侵蚀现象的有用资料，常用作野外实验研究的补充方法。

(3) 室内实验及分析。研究侵蚀的发生、发展以及由侵蚀带来地表形态、土壤自然属性及植被等变化。通过室内分析、遥感判读、数字成像、电镜分析等应用技术，能深刻揭示其机理和本质，成为现代侵蚀研究的重要方法。

三、土壤侵蚀学在水土保持学科中的地位

土壤侵蚀学是水土保持与荒漠化防治专业课程体系中的重要组成部分。从全国设置该专业的高等院校的教学方案中可以看出，它属于专业基础课的范畴，如图 0-1 所示。从图 1 中可以看出，该专业的 12 门骨干课程互为因果关系，且具有逻辑上的先后顺序。土壤侵蚀学的学习既依赖于其他 6 门专业基础课的相关知识，又服务于专业课。因此，该门课程在专业骨干课结构中具有桥梁与纽带的作用。

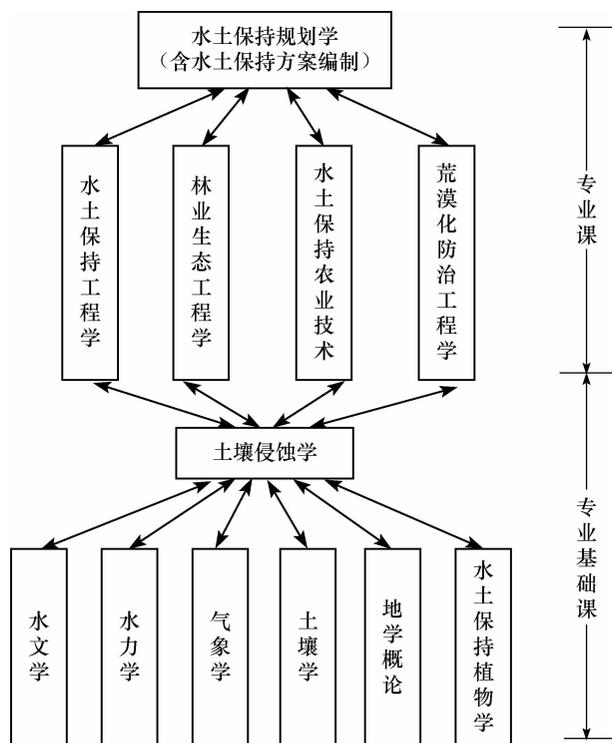


图 0-1 水土保持与荒漠化防治本科专业骨干课程结构示意图

四、土壤侵蚀造成的危害

(一) 我国土壤侵蚀的概况

我国幅员辽阔，陆地面积约 960 万 km^2 ，其中丘陵山地面积占 70% 左右，跨越不同的气候生物带；我国又是一个农业开发历史悠久的国家，许多地区的自然环境都遭到人类活动不同程度的影响，自然和人为加速侵蚀遍及全国各地，而且强度高、成因复杂、危害严重。根据全国土壤侵蚀遥感普查数据（2000~2001 年），目前我国土壤侵蚀总面积 356.92 万 km^2 ，



占国土总面积的 37.2%。其中,水力侵蚀面积 161.22 万 km²,占土壤侵蚀总面积的 45.2%;风力侵蚀面积 195.70 万 km²,占土壤侵蚀总面积的 54.8%。

从各省(自治区、直辖市)水土流失的(我国把水土流失作为土壤侵蚀的习惯称谓,下同)分布看,水力侵蚀主要集中在黄河中游地区的山西、陕西、甘肃、内蒙古、宁夏和长江上游的四川、重庆、贵州和云南等省(自治区、直辖市);风力侵蚀主要集中在西部地区的新疆、内蒙古、青海、甘肃和西藏等省(自治区)。

全国土壤侵蚀分布广泛,除上海市、香港和澳门特别行政区外,其余 31 个省(自治区、直辖市)都存在不同程度的水土流失。新疆和内蒙古的水土流失面积远远大于其他省份,主要是因为这两个自治区的风力侵蚀面积较大。

从各流域水土流失的分布看,长江、黄河、淮河、海河、松辽河、珠江、太湖七大流域水土流失总面积 136.42 万 km²,占全国水土流失总面积的 38.2%。其中,水蚀面积 120.58 万 km²,占全国水蚀总面积的 74.8%;风蚀面积 15.84 万 km²,占全国风蚀总面积的 8.1%。长江流域的水土流失面积最大,黄河流域水土流失面积次之。但黄河流域水土流失面积占流域总面积的比例最大,强度以上侵蚀面积及其比例居七大流域之首,是我国水土流失最严重的流域。

按照我国制定的水土保持目标,到 2050 年全国建立起适应经济社会可持续发展的良性生态系统,适宜治理的土壤侵蚀区基本得到整治,土壤侵蚀和沙漠化基本得到控制,坡耕地基本实现梯田化,宜林地全部绿化,“三化”(草地退化、沙化和盐渍化)草地得到恢复,全国生态环境明显改善,人为土壤侵蚀得到根治,大部分地区基本实现山川秀美。因此,我国土壤侵蚀研究与水土保持工作还任重而道远。

(二) 土壤侵蚀危害

土壤侵蚀已成为世界环境的危害之一,也是我国最大的环境问题。其危害主要表现在以下几个方面。

1. 耕地质量降低,数量减少 耕地质量的降低主要表现在土壤的物理、化学和生物性状等质量的下降,而数量减少主要是指可利用的土地面积减少。表 0-1 和表 0-2 反映的是我国南方和陕北地区部分县市由于土壤侵蚀造成土壤养分降低的情况。另据统计,土壤侵蚀给我国三分之一的耕地带来土壤环境全面恶化,农作物减产,造林种草也会遇到越来越多的困难。

表 0-1 南方部分地区表土和养分年均流失量表

省、自治区或地区	土壤流失量/万 t	有机质流失量/万 t	氮磷钾流失量/万 t
豫南	3 122.8	46.84	49.03
皖西	3 671.3	55.07	57.60
鄂东北	4 273.5	64.10	67.10
浙	6 410.0	96.15	100.70
赣	19 000.0	285.00	298.30
湘	15 000.0	225.00	235.50
闽	6 800.0	102.00	106.80
粤	428.0	64.30	67.30
桂	7 000.0	105.00	109.90
合计	65 705.6	1 043.46	1 092.23

资料来源:中国科学院南方山区综合科学考察队,1994



表 0-2 陕北六县土壤耕作层养分含量表

县名	耕作层深度 /cm	有机质 /%	全氮 /%	速效磷 /(mg/kg)	速效钾 /(mg/kg)	碱解氮 /(mg/kg)	微量元素/(mg/kg)				
							硼	锌	锰	铜	铁
榆林	13~22	0.73	0.042	7	114	35	0.39	0.35	4.24	0.63	7.06
神木	13~22	0.75	0.046	6	1.6	42	0.33	0.42	3.27	0.44	6.08
府谷	15~22	0.62	0.040	5	99	36	0.27	0.56	4.87	0.44	3.35
定边	13~20	0.68	0.045	4	133	39	1.09	0.40	4.61	0.39	3.45
靖边	13~20	0.50	0.041	5	92	27	0.26	0.31	4.32	0.33	2.41
横山	13~20	0.62	0.031	8	76	26					

资料来源：郭绍礼，1996

地表遭受侵蚀后，既引起了地形（或地块）平面的变化，又造成沟壑面积扩张，可利用地面积减少，我国因土壤侵蚀损失耕地 $2.67 \times 10^6 \text{hm}^2$ ，平均每年损失 $6.67 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，这种现象在全国各地都有不同程度的表现。例如，据辽宁省的 12 个市统计，自 1950 至 1980 年 30 年间减少耕地 $5.41 \times 10^5 \text{hm}^2$ ，平均每年减少 $1.80 \times 10^4 \text{hm}^2$ 左右；福建省每年被冲毁和沙压的土地面积多达 $3.61 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。长江流域每年因水土流失导致石化和沙化的土地 6.67 万 hm^2 以上；东北黑土地近 50 年来，耕作黑土层已流失 $1/3 \sim 1/2$ 。在全国其他省、自治区，因土壤侵蚀损失可利用土地成为一种普遍现象。

2. 诱发泥沙灾害 泥沙灾害是指致灾因子是泥沙或者由泥沙诱发其他载体（风、水）给人类的生存、生活环境和物质文明建设带来危害，给经济带来损失，这样的泥沙事件就构成了泥沙灾害。它可以根据成因划分为直接灾害和间接灾害两类，见表 0-3。

表 0-3 侵蚀产沙灾害类型

灾害营力	灾害性质	泥沙来源	灾害类型	灾害表现形式	典型事例
流水	间接	流水侵蚀 (沟蚀面蚀)	洪涝	泥沙长年在河床淤积，河道、湖泊和水库萎缩诱发洪涝灾害	黄河下游河道三门峡水库洪涝、西辽河、永定河流域、洞庭湖洪涝等
			滑坡	大块土体或岩体滑坡堵塞河道淹没道路村庄	甘肃酒勒山滑坡、秭归盐关滑坡，长江三峡鸡扒子滑坡
重力	直接	重力侵蚀	泥石流	突发性的泥沙、砾石冲坏村庄。道路和堵塞河道	滇北小江的蒋家沟泥石流、波密古乡冰川泥石流
			崩塌 (崩岗)	岩体或土体因失重在陡坡上崩塌或从岩壁上崩塌	宜昌盐池河崩塌，新滩崩塌滑坡，华南五华花岗岩崩岗
风力	直接	风力吹蚀	浮沙	在大风的吹扬下，气流中的悬浮沙尘降落在地面上	甘肃河西的黑风暴，新疆、青海和内蒙古的风蚀沙地

资料来源：景可等，1999

我国是一个多山的国家，因滑坡、泥石流形成的泥沙灾害相当严重。据不完全统计，全国有泥石流沟 10 万多条，受它威胁的城市 70 多座、县城 460 多个，1949~1990 年因滑坡、崩塌和泥石流使我国至少造成 100 多亿元的直接经济损失，毁坏耕地 130 多万亩^①，铁路、水库、电站受到严重威胁，近万人死亡，年均死亡 200 多人。1998 年长江洪水中总共死亡 3000 多人，其中 1200 多人就是死于山洪泥石流等泥沙灾害。我国铁路沿线分布着大、中型

① 1 亩 $\approx 667 \text{m}^2$ ，后同。



滑坡 1000 多处、泥石流沟 1.3 万多条。每年都因滑坡泥石流中断交通运输。例如, 1998 年西北干旱地区的兰新线因山洪泥石流冲毁路基, 曾两度中断铁路运行。新中国成立后有千座各类型的电站及数百座不同类型水库受滑坡、崩塌和泥石流的严重威胁, 仅云南一省就毁坏水电站 300 余座。

由于侵蚀泥沙在下游沉积, 河床被抬高, 导致洪涝灾害的发生。这一现象, 在北方几条高含沙河流中是比较普遍的现象, 其中最为典型的是黄河下游。在新中国成立前有记录的 2000 多年时间内, 黄河大堤决溢达到 1500 多次, 大小改道 26 次; 唐开元十四年(公元 716 年)黄河大堤决口淹死 100 多万人; 明崇祯十五年(公元 1642 年)黄河大堤决口, 开封满城皆水, 全城 37.8 万余人, 幸存者仅 3 万人; 1933 年黄河大洪水, 南北两岸大堤决口 50 多处, 受灾面积达 1.1 万 km^2 , 灾民 364 万人, 死亡 1.8 万人。新中国成立以后黄河下游虽然没有决口, 但下游河床泥沙淤积速率并没有减慢, 每年仍以 10cm 的速度抬高, 大堤虽经三次加高培厚, 但大堤决溢的危险性依然存在。1950 年以来我国兴建了大中小型水库 86 000 座, 总库容 4000 多亿立方米, 至今已淤积 1000 亿多立方米, 占总库容的四分之一。大量的泥沙淤积, 造成河、湖面积萎缩, 过(蓄)洪能力减弱, 又导致了新的洪水灾害。

3. 威胁城镇, 破坏交通 由于水土流失, 我国内河航运由 1961 年的航道 29 条, 航运里程 5141km, 年货运量 1300 万 t, 到 1980 年分别减少到 14 条, 航运里程 3856km 和货运量 700 万 t。江西省 1957 年调查资料显示, 当时可通航河流 259 条, 通航里程 11 275km, 到 20 世纪 70 年代由于泥沙淤积缩短长期航道近 1000km, 至今通航里程已经缩短近三分之一。类似现象在湖南、湖北和广东、广西都有, 如广东因水土流失河道淤积而断航的河有 919km, 韩江上游梅县地区淤积了大小河流 379 条, 已淤高 0.5~2.9m, 原通航里程 783.6km, 现在只有 340.5km, 占原航程的 43.5%。

重力侵蚀也是造成城镇交通破坏的原因之一。例如, 陕西省渭河北岸塬边卧龙寺一次滑坡爆发后, 不仅毁坏了坡下的一个村庄, 并把陇海铁路向南推移 100 余米; 又如, 云南东川矿区蒋家沟, 1968 年爆发一次泥石流, 冲垮了排洪堤坝, 堵塞了小江, 使小江断流, 水位上涨 10m, 沿江的公路、铁路及其桥梁、涵洞都被淹没。西南地区的公路、铁路每年雨季都要受到不同程度的泥石流和滑坡的威胁。成昆铁路从北到南纵贯川西地区 495km, 对铁路存在威胁的滑坡有 80 多处, 1980 年 7 月 3 日发生在铁西车站的大滑坡, 滑坡体积约 200 万 m^3 , 将 160m 长的铁西车站全部覆盖, 埋深 14m, 造成铁路中断 1058h, 整治工程费用 2300 万元。在西南山区 20 世纪 60 年代修建的一些厂矿, 大部分都遭到滑坡泥石流不同程度的破坏, 如汉中地区的工厂、略阳电厂、第二汽车制造厂、山西霍县电厂都相继遇到泥石流和滑坡的影响。1981 年 8 月汉中地区连降暴雨, 勉县、宁强、南郑、留坝、略阳 5 县共发生滑坡、泥石流 1 万多处, 毁房 1.6 万多间, 死亡 140 余人。该年宝成铁路凤州段沿线滑坡 92 处, 破坏路基 44 处, 冲坏桥梁 10 座, 压埋车站 3 处, 使宝成铁路运行中断。1984 年武都县遭到 50 年一遇的暴雨袭击, 滑坡增多, 全县有 537 处滑坡, 滑坡堵塞江河, 中断交通, 破坏农田, 给生产建设和人民生命财产带来巨大的损失。

4. 水土流失与贫困恶性循环同步发展 “越垦越穷, 越穷越垦”是对坡耕地水土流失因果关系的正确描述。1949 年以来, 我国人口不断增加, 特别是在山丘区。人们为满足自身的需求, 在一定条件下, 只能向大自然索取, 这样就造成垦植的土地面积不断扩大, 坡度不断变陡, 水土流失不断加剧, 粮食产量不断下降, 生活水平与质量徘徊不前。因此, 土壤侵蚀与贫困同步发展。如不及时扭转, 后果将不堪设想。



总体来看,土壤侵蚀与荒漠化的危害可以从三个层次上来认识:从全球来看,土壤侵蚀和荒漠化对生态系统中的气候因素造成不利影响,破坏生态平衡,引起生物物种的损失并导致政治上的不稳定;从一个国家来看,它造成国家经济损失,破坏能源及粮食生产,加剧贫困,引起社会的不安定;对一个局部地区来说它破坏土地资源及其他自然资源,使土地退化,妨碍经济及社会发展。

五、土壤侵蚀科学的形成与发展

土壤侵蚀学属应用基础理论学科,它源于生产又服务于生产,是伴随着生产实践和社会的发展而诞生和发展起来的。可从以下两个方面来窥探其形成与发展过程。

(一) 国外土壤侵蚀科学的形成与发展

德国土壤学家 Wollny (1877~1895) 建立了世界上第一个径流小区,观测植被覆盖对侵蚀和土壤板结的影响,以及坡度对侵蚀的作用, Kozmenko (1909, 1910) 则对片状侵蚀和细沟侵蚀率先进行了研究。美国密苏里大学 Miller 及其同事于 1917 年在密苏里农业实验站 (Missouri Agricultural Experiment Station) 布设了如今的径流小区,开展农作物及轮作对侵蚀和径流的影响研究,并于 1923 年第一次撰写出版了野外试验小区成果的著作。20 世纪 20 年代,美国土壤侵蚀学科的奠基人 Bennett 博士根据前人对侵蚀的理解及经验方法在全美不同自然地理区建立了 10 个代表不同土壤和气候条件的土壤侵蚀试验站网,开展土壤侵蚀的试验研究,为土壤侵蚀研究的发展奠定了初步基础。

在欧洲,19 世纪后期 Surell 和 Demontzey 等科学家对山洪和雪崩发生过程及防治原理进行了研究,1860 年编写出版了《山区土壤保持和山洪防治手册》;1884 年颁布奥地利-匈牙利 177 号议案。此后,土壤侵蚀研究工作除继续研究减少河流泥沙输移和河槽沉积外,对土壤侵蚀特征和土壤侵蚀防治工作也给予了极大关注。早期从事水文学、冰川学、农学、森林学、植物地理学的研究者也从不同的方向对土壤侵蚀现象和过程进行了观测描述。

1934 年美国西部大平原发生了有史以来第一次沙尘暴,造成了巨大损失,使美国政府和国民深刻认识到土壤侵蚀的危害。随之美国成立了土壤保持局(后改为自然资源保持局),并将原来的 10 个土壤侵蚀试验站网扩大到 44 个,遍及 26 个州;同时有关高等院校也纷纷建立了一批土壤侵蚀试验站。由于这些试验观测站在试验设计、观测方法、资料处理上的一致性和规范化,为后来美国土壤侵蚀研究和重大创新性成果的产生(如著名的土壤流失预报方程——USLE)积累了大量的科学资料。可以说,20 世纪 40 年代以前美国土壤侵蚀研究主要是确定了美国土壤侵蚀研究的大体轮廓,分辨出了影响侵蚀的主要因素,并进行了单因子及多因子的定量分析。此阶段最有代表性的著作是 Bennett 于 1939 年编写出版的《土壤保持》。

从 20 世纪 40 年代开始,土壤侵蚀科学研究从对侵蚀现象的一般描述和对影响因子的试验研究步入到对土壤侵蚀过程及其机理的定量化研究。1935 年后 Neal、Zingg、Smith 等开始雨滴溅蚀机制研究。1940 年 Laws 完成降雨过程的溅蚀研究。1944 年 Ellison 通过实验揭示出降雨击溅是水蚀过程中的一种主要营力。这些成果促进了降雨物理特性及其溅蚀的研究得到迅速发展,并进一步促进了人工模拟装置的研发与应用,极大地加快了研究工作的进度。在土壤本身抵抗侵蚀的能力方面,对土壤可蚀性进行了大量研究,取得了重要进展。与此同时, Ellison 也对侵蚀过程进行了深层次研究,并将侵蚀过程划分为雨滴击溅过程、径



流侵蚀过程、雨滴搬运过程和径流搬运过程 4 个子过程。1969 年, Meyer 和 Wischmeier 对 Ellison 划分的土壤侵蚀的 4 个亚过程进行了数学模拟, 应用“受分散限制的”和“受搬运限制的”的概念, 计算了单元产沙量。后来, Foster 和 Meyer 等基于 Ellison 的研究结果, 提出了侵蚀率受输沙率和输沙能力的制约和细沟间侵蚀以降雨侵蚀为主、细沟侵蚀以径流侵蚀为主的侵蚀概念模型。与此同时, 土壤侵蚀预报研究也取得了重要进展。1954 年, 美国农业部在美国中西部印第安纳州西拉法叶建立了国家径流泥沙数据研究中心, 组织全美力量汇总全国径流泥沙观测资料, 由 Wischmeier 组织有关部门和科研、教学和生产单位联合攻关, 建立了著名的通用土壤流失方程 (USLE—universal soil loss equation), 于 1965 年以农业手册 282 号出版第一个官方版, 1978 年以农业手册 537 号出版第二版。

20 世纪 80 年代以来, 由于现代新技术新方法的引入, 人们以预测预报模型研究带动侵蚀机理、过程研究, 并重视土壤侵蚀和水土保持的环境与经济效应。主要研究进展有: 修正完善通用土壤流失方程式 (RUSLE2.0); 深化风蚀和水蚀过程研究, 强化研究成果的集成, 研发水蚀预报的物理模型, 如 WEPP、EUROSEM、LISEM 和风蚀预报模型 RWEQ 和 WEPS; 强化土壤侵蚀环境效应评价研究, 建立评价模型, 包括土壤侵蚀与土壤生产力模型, 如 EPIC、SWAT 和非点源污染模型 AGNPS、ANSWER、CREAMS; 坡面水土保持措施研究注重水土保持措施与现代机械化耕作相结合, 深化研究少耕、免耕、残茬覆盖等水土保持措施的作用机理, 强化植物根系层提高土壤抗侵蚀能力的研究; 重视民众参与和提高公众环境意识, 水土保持措施研究与农场主需求相结合; 学科内和学科间的交叉研究也日趋活跃。

有关风力侵蚀的研究在很长一段时期内没有引起足够的重视。20 世纪 30 年代, 美国和前苏联中亚地区的黑风暴才引起人们对风蚀的关注。关于风蚀的研究可以划分为三个阶段: 30~60 年代, 风蚀研究开始有了较大进展, 实现了定性描述到定量研究的飞跃, 如拜格诺进行了一系列风沙运动的实验研究, 创立了“风沙物理学”。此阶段风蚀研究的主要内容有风蚀物理机制, 如土壤颗粒在风力作用下的运动性质、颗粒起动风速、气流输沙通量, 风沙流的磨蚀作用、风沙流的累积强度和风力作用下土壤物质的分选等。同时, 也开始了风蚀影响因子的系统研究, 建立了风蚀预报方程 (WEQ)。60 年代中期, 风蚀研究的重点转向土壤风蚀防治原理及风沙工程、风蚀防护措施的配置及防护效益评价。这一时期风蚀方程的应用, 数理分析方法, 计算机处理技术等被引入土壤风蚀研究。在学科间相互渗透作用的推动下, 土壤风蚀研究取得较大进展, 如区域土壤风蚀的宏观评价。70 年代以后, 全球土地荒漠化扩展, 引起了各方面的关注, 风蚀研究进入全新阶段, 研究的方法和技术也有了新的发展, 研究的重点由野外定位观测转向室内风洞模拟实验, 侧重风蚀动力机制和各风蚀影响因子相互作用过程研究, 风蚀预报研究取得较大的进展, 研发了 RWEQ 和 WEPS 等风蚀预报模型。

(二) 中国土壤侵蚀科学的形成与发展

早在三千年前, 我国劳动人民对水土流失的现象就有所认识, 但将它视为一门科学而展开研究, 则是从 20 世纪 20 年代开始的。当时金陵大学森林系的部分教师在晋、鲁、豫进行了水土流失调查及径流观测; 30 年代在该校开设土壤侵蚀及其防治方法课程。1933 年原黄河水利委员会成立并设置林垦组, 从事防治土壤冲刷工作。40 年代黄瑞采等学者对陕甘黄土分布、特性与土壤侵蚀的关系等进行了深入的考察研究。随后, 相继在天水 (1941 年)、



西安、平凉和兰州（1942年）、西江和东江（1943年）、南京和福建（1945年）建立了水土保持实验站。可以说这个时期是我国土壤侵蚀科学发展的初期阶段。

我国大规模开展土壤侵蚀研究并取得重要成果则是从20世纪50年代开始的。1957年成立了全国水土保持委员会，1958年原北京林学院成立了水土保持本科专业。特别是1955~1958年的黄河中游水土保持综合考察，取得了一批宝贵的基础资料、图件和成果。黄秉维、朱显谟、席承藩等对黄土高原土壤侵蚀分类和分区等做了大量开创性的工作，为我国的土壤侵蚀科学发展奠定了重要基础。

20世纪70年代末，国家科学技术委员会组织开展了第二次黄土高原地区综合考察和进行了连续数个五年计划的黄土高原典型地区综合治理试验示范研究，并将研究尺度由小流域扩大到区域，进行了长江流域和全国土壤侵蚀区划。建立了土壤侵蚀国家重点实验室及与其配套的世界第二大人工模拟降雨实验大厅。各研究机构、高等学校和各级水利水保部门布设了一系列水土流失观测站进行观测，并研制了不同的室内外人工模拟降雨装置开展系统研究，编制了全国水土流失技术标准和监测规程。各大江河流域和各行政部门相继建立了水土保持与生态环境监测机构，国家自然科学基金委员会、水利部和黄河水利委员会等联合或单独设立了水土保持研究基金资助开展研究。三峡工程的建设促使其上游地区的水土流失研究受到关注，“3S”等技术在土壤侵蚀调查研究和空间评价中得到广泛使用。《水土保持法》的颁布、西部大开发对生态环境建设的需求及国家将实施的经济与社会协调发展的战略正在推动土壤侵蚀科学研究向量化的方向发展。

1. 土壤侵蚀分类和分区 建立了较为合理、完善的土壤侵蚀分类系统，按照侵蚀动力的不同，将土壤侵蚀主要划分为水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀、冻融侵蚀和人为侵蚀，在每一侵蚀类型中又进一步根据侵蚀过程的发展阶段划分侵蚀方式。20世纪90年代又增加了水蚀风蚀复合侵蚀类型。近年来各类开发建设项目造成的水土流失也引起了政府部门的高度重视。新近又认识到了耕作形成的侵蚀，并开展了相应研究。

20世纪50年代黄秉维采用3级分区方案编制的黄河中游土壤侵蚀分区图，既简明扼要，又突出了重点，沿用至今，对黄土高原水土保持工作起到了重要的指导作用。朱显谟根据黄河中游不同区域尺度的要求，提出了土壤侵蚀5级分区方案，即地带、区带、复区、区和分区。80年代辛树帜将全国土壤侵蚀类型划分为水力、风力和冻融3个一级区，并将水蚀区分为6个二级区。1984年开展了应用遥感技术编制全国和各大流域土壤侵蚀图（1:250万和1:50万）的工作。近期完成了全国土壤侵蚀遥感调查，分析研究1990年与2000年前后两时段全国土壤侵蚀动态变化。

2. 土壤侵蚀影响因素与机理 降雨是影响侵蚀的主要动力因素之一。在天然降雨雨滴特性、降雨动能、侵蚀性暴雨的研究方面取得明显进展。提出了全国不同侵蚀区的侵蚀性暴雨标准，建立了适合全国不同侵蚀区的降雨侵蚀力指标。

朱显谟将土壤抗侵蚀性分为抗蚀性和抗冲性，并根据黄土的物理特性和抗冲性提出了“全部降水就地入渗拦蓄”这一水土保持方略。20世纪80年代以来关于植被根系对土壤抗冲性的研究取得了重要进展，发现反映土壤抗蚀的重要指标为风干土的水稳性团粒含量，而土壤腐殖质和物理性粘粒含量是影响土壤风干土水稳性团粒含量的主要指标。

地形因子与土壤侵蚀关系的研究结果表明，存在影响土壤侵蚀的临界坡长及临界坡度，唐克丽等根据浅沟侵蚀发生的临界坡度论证了黄土高原地区的退耕坡度，建立了全国不同水蚀区坡面土壤流失量与坡度、坡长的关系式。近年来又选取地形起伏度作为影响区域水土流



失的地形因子指标展开研究。

植被对土壤侵蚀的影响，主要集中在植被林冠层对降雨再分配的影响研究、地被物消减雨滴能量及防冲机理、植被根系增强土壤抗侵蚀性的物理学过程和生物化学过程、有效植被覆盖度等。在植被影响区域土壤侵蚀研究方面，已结合遥感技术用近地面植被绿度指数替代过去的植被覆盖度，更能反映植被对土壤侵蚀的影响。

有关人类活动对土壤侵蚀的影响，集中在水土保持效益评价和人为不合理开发利用自然资源方面。对资源开发、工矿建设引起的新的为人为加速侵蚀进行了评价；近期城市土壤侵蚀的研究也受到了重视。对人为破坏植被引起的加速侵蚀进行了长期动态观测研究，并从历史考证、现在不合理开垦和坡耕地土壤侵蚀现状等方面对自然侵蚀和人为加速侵蚀做出了科学评价，为黄土高原植被恢复与重建及减少入黄河泥沙提供了重要依据。基于流域侵蚀-产沙关系的研究，提出了黄土高原泥沙输移比接近 1 的重要研究结果；近期开展了长江流域泥沙输移比的研究，认为长江流域泥沙输移比变化为 0.15~0.61。

3. 土壤侵蚀预测与预报 20 世纪 80 年代初引入美国通用土壤流失方程，结合各地自然条件建立了适合各地的模型参数指标，其中对降雨侵蚀力指标、标准径流小区选定等进行了修正。在对单因子进行定量分析研究的基础上，开始尝试坡面土壤流失模型的研发，近期初步提出了中国坡面土壤流失方程（CSLE）。20 世纪 80 年代以来，基于小流域水沙观测资料，建立了估算小流域侵蚀产沙统计模型；并在滑坡、泥石流预警研究方面取得了一定进展。90 年代开始探索坡面侵蚀预测物理模型、地理信息系统支持下的小流域水蚀预报模型研究。

在区域水土流失趋势预测方面，20 世纪 80 年代末周佩华等进行了全国水土流失趋势预测研究。90 年代，基于对影响土壤侵蚀因子趋势变化的分析，并结合水土流失治理进度和粮食自给的需求，对黄土高原未来水土流失趋势进行了预测。近期开始探索区域水土流失及其趋势预测的研究。

4. 新技术新方法的应用 20 世纪 70 年代以来开展的人工模拟降雨技术在土壤侵蚀机理、土壤侵蚀定量评价和土壤侵蚀动力过程研究中发挥了重要作用。80 年代以来，利用 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb 、 ^7Be 等放射性核素示踪方法，创建稀土元素示踪技术对侵蚀空间分布和沉积及泥沙来源进行了研究。遥感（RS）、地理信息系统（GIS）和全球定位系统（GPS）技术在水土流失调查评价和空间分析等方面发挥了重要作用。

5. 土壤侵蚀环境效应评价 对土壤侵蚀引起的土壤质量退化过程研究较多，但尚未建立起土壤侵蚀与土壤生产力关系模型。对土壤侵蚀引起的水体污染等环境负效应和由土壤侵蚀造成的直接经济损失的评价研究较少，尚需加强这些方面的研究。

6. 泥沙来源与水土保持减沙效益评价 基于黄河流域水沙区域差异的特征及其对黄河泥沙的贡献，对黄河泥沙来源进行了大量的研究，界定出黄河中游的多沙粗沙区和重点治理区。针对 20 世纪 80 年代黄河泥沙明显减少现象，开展了降水与水土保持减沙效益分析研究，提出了水保法和水文法的评价方法。

7. 风蚀研究 我国风蚀研究在 1950 年前基本是空白。1950 年后，我国政府十分重视风蚀的治理与预防。20 世纪 50 年代国务院召开两次全国治沙工作会议，促进治沙工作的开展，推动风蚀科学研究。50 年代末中国科学院组建了“中国治沙队”，对我国主要沙漠与戈壁地区展开大规模的综合科学考察，基本查明我国主要沙漠的分布范围、沙漠沙的来源、沙丘成因类型及其发育过程和移动规律，为以后风蚀研究及其防治奠定了基础。60 年代中后